

**CARACTERIZACIÓN DE LA CARGA ELÉCTRICA POR MEDIO DE
FASORES DE VOLTAJE Y CORRIENTE**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA: INGENIERÍA
ELÉCTRICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:
CARACTERIZACIÓN DE LA CARGA ELÉCTRICA POR MEDIO DE
FASORES DE VOLTAJE Y CORRIENTE**

**AUTOR:
CRISTIAN ESTUARDO YÁNEZ YÁNEZ**

**TUTOR:
DIEGO FRANCISCO CARRIÓN GALARZA**

Quito, Junio 2017

CRISTIAN ESTUARDO YÁNEZ YÁNEZ

CARACTERIZACIÓN DE LA CARGA ELÉCTRICA DE VOLTAJE Y CORRIENTE

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2017

Ingeniería Eléctrica

Breve reseña de autores e información de contacto:



Cristian Estuardo Yáñez Yáñez (Y'1989-M'05). Realizó sus estudios secundarios en el Instituto Tecnológico Superior Central Técnico. Egresado de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en la Caracterización de la carga mediante el uso de fasores de voltaje y corriente.
cyanezy@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Diego Francisco Carrión Galarza (Y'1981-SM'12). Se graduó en Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador en 2010 y en la actualidad está trabajando para lograr su título de Doctor en Ingeniería de la Universidad Pontificia Bolivariana - Medellín Colombia. Es profesor e investigador en la Universidad Politécnica Salesiana - Quito Ecuador. En la actualidad es miembro del Grupo de Investigación Girei (Grupo de Investigación en Redes Eléctricas Inteligentes - Smart Grid Research Group).
dcarrion@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados:

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2017 Universidad Politécnica Salesiana
QUITO-ECUADOR

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR/A

Yo Diego Francisco Carrión Galarza declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación *Caracterización de la carga eléctrica por medio de fasores de voltaje y corriente* realizado por Cristian Estuardo Yáñez Yáñez, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, Junio 2017



.....
Diego Francisco Carrión Galarza


Cédula de identidad: 1713703062

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Cristian Estuardo Yáñez Yáñez, con documento de identificación N° 1723411235, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor/es del trabajo de grado/titulación intitulado: “CARACTERIZACIÓN DE LA CARGA ELÉCTRICA POR MEDIO DE FASORES DE VOLTAJE Y CORRIENTE ”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Firma



.....
Nombre: Cristian Estuardo Yáñez Yáñez
Cédula: 1723411235
Fecha: Quito, Mayo 2017

INDICE GENERAL

1. Introducción	2
2. Análisis de la carga	3
2.1 Método ZIP	3
3. Formulación del problema	4
3.1 Modelo para caracterizar la carga (Propuesto).....	4
4. Análisis de resultados	5
4.1 Analisis de caracterización de la carga con el método propuesto	5
5. Conclusiones	9
6. Referencias.....	9
6.1. Matriz estado del arte.....	12

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Caracterización de la carga mediante el uso de PMU	3
Figura 2. Esquema de 14 barras de la IEEE.....	5
Figura 3. Potencia activa modelada vs. Potencia activa real inicial.....	5
Figura 4. Potencia reactiva modelada vs. Potencia reactiva real inicial	5
Figura 5. Potencia activa modelada vs. Potencia activa real caso 1	6
Figura 6. Potencia activa modelada vs. Potencia activa real caso 1 con barra de error	6
Figura 7. Potencia reactiva modelada vs. Potencia reactiva real caso 1	6
Figura 8. Potencia reactiva modelada vs. Potencia reactiva real caso 1 barra de error	6
Figura 9. . Potencia activa modelada vs. Potencia activa real caso 2.....	7
Figura 10. Potencia activa modelada vs. Potencia activa real caso 2 con barra de error ...	7
Figura 11. ..Potencia reactiva modelada vs Potencia reactiva real caso 2.....	7
Figura 12. Potencia reactiva modelada vs. Potencia reactiva real caso 2 barra de error ...	7
Figura 13. Potencia activa modelada vs. Potencia activa real caso 3	8
Figura 14. Potencia activa modelada vs. Potencia activa real caso 3 con barra de error ...	8
Figura 15. Potencia reactiva modelada vs. Potencia reactiva real caso 3	8
Figura 16. Potencia reactiva modelada vs. Potencia reactiva real caso 3 barra de error ...	8
Figura 17. Potencia activa modelada vs. Potencia activa real caso 4	8
Figura 18. Potencia activa modelada vs. Potencia activa real caso 4 con barra de error ...	9
Figura 19. Potencia reactiva modelada vs. Potencia reactiva real caso 4	9
Figura 20. Potencia reactiva modelada vs. Potencia reactiva real caso 4 barra de error ...	9
Figura 21. Resumen e indicadores del estado del arte	15

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos iniciales	5
Tabla 2. Coeficientes de la carga caso 1	6
Tabla 3. Coeficientes de la carga caso 2	7
Tabla 4. Coeficientes de la carga caso 3	7
Tabla 5. Coeficientes de la carga caso 4	8

CARACTERIZACIÓN DE LA CARGA ELÉCTRICA POR MEDIO DE FASORES DE VOLTAJE Y CORRIENTE

Resumen

En este trabajo se presenta un modelo para la caracterización de la carga eléctrica, basado en el uso de Unidades de Medición Fasorial (PMU), y Medidores Inteligentes en (SM), estos sistemas presentan una alta velocidad de transmisión de datos y muestran aproximaciones muy precisas al momento de tomar medidas del sistema eléctrico. Actualmente los problemas que se presentan en la caracterización de la carga se deben a la falta de métodos eficaces con la cual se puedan demostrar y analizar, esto debido a la variación de sus factores en el transcurso del tiempo. El método que se utilizó para la caracterización de la carga es el modelo ZIP, con el cual se demostró y analizó el comportamiento de la carga eléctrica, para lo cual se hizo uso del análisis numérico de mínimos cuadrados para determinar los coeficientes de corriente, impedancia y potencia, datos importantes para desarrollar el modelo propuesto, con la cual se pudo determinar la eficacia del modelo, ya que presenta un porcentaje de error máximo de 2%, el cual nos indica que es muy útil para caracterizar la carga eléctrica.

Palabras Clave: Caracterización de la carga, Modelo ZIP, Unidades de Medición Fasorial (PMU's), Medidores Inteligentes (SM), Sistemas Eléctricos de Potencia, Mínimos Cuadrados.

Abstract

This work presents a model for the characterization of the electric charge, based on the use of Fasorial Measurement Units (PMU), and Smart Meters in (SM), these systems present a high speed of data transmission and show very approximate Accurate when taking measurements of the electrical system. Currently the problems that arise in the characterization of the load are due to the lack of effective methods with which they can be demonstrated and analyzed, due to the variation of their factors in the course of time. The method that was used for the characterization of the load is the ZIP model, with which the electric charge behavior was demonstrated and analyzed, for which use was made of the least squares numerical analysis to determine the coefficients of current, impedance And power, important data to develop the proposed model, with which it was possible to determine the efficiency of the model, since it presents a maximum error rate of 2%, which indicates that it is very useful to characterize the electric charge.

Keywords: Characterization of the load, Model ZIP, Units of Measurement Fasorial (PMU's), Smart Meters (SM), Electrical Power Systems, Least Squares.

1. Introducción

Hoy en día el modelamiento de la carga cumple un papel importante ya que es muy reconocido en los sistemas de potencia, tiempo atrás se pensaba que las cargas eran demasiado complejas y que no existían métodos ideales para el modelamiento. Sin embargo el modelado de carga basado en la medición se resolvió en su mayoría de problemas planteados durante veinte años de estudio [1], [2]. Además los modelos de carga del sistema eléctrico son importantes para el análisis y simulación del comportamiento dinámico de los sistemas de potencia. Sobre todo en el tema de estabilidad y tensión, ya que los parámetros de variables estáticas y dinámicas tienen un impacto importante en la estabilidad del sistema de potencia [3], [4]. También es ampliamente conocido que el modelamiento de la carga es difícil debido a la incertidumbre y a la complejidad de la carga por lo cual se han desarrollado dos enfoques para construir el modelamiento de la carga, el modelo basado en componentes y el método basado en la medición [5].

Por otro lado el enfoque basado en componentes implica el desarrollo de diferentes modelos de carga, este a su vez se forma a partir de la información de los diferentes elementos que conforman la subestación, por lo que el propósito del enfoque basado en componentes es desarrollar modelos de carga mediante la agregación de los diferentes modelos que conforman la carga [6]. Además en el análisis de los sistemas de potencia se toma en cuenta los diferentes componentes del sistema eléctrico, incluidos los componentes de carga, puesto que estos cumplen un papel significativo en el rendimiento del sistema, ya que en las simulaciones se toman en cuenta los resultados del flujo de carga, tensión y estabilidad transitoria [7], [8]. Por otro lado en el enfoque basado en componentes tiene la ventaja que no requiere medidas de campo y de

adaptación a diferentes sistemas y condiciones y es mucho más fácil puesto que en un sistema de carga los datos no pueden variar ampliamente sino más bien en rangos muy cortos, lo que significa que no debe existir un cambio significativo en la simulación [9]. El modelo que se usara para la caracterización de la carga eléctrica es el método ZIP ya que este se encuentra enfocado a la medición basada en componentes, en este caso el componente que se usará para el desarrollo de las simulaciones son las PMU [10], ya que estos sistemas tienen varias ventajas: La precisión de las mediciones de las PMU suelen ser mejores en comparación con los medidores asíncronos. Estos sistemas tienen una tasa de medición precisa con la cual nos permiten monitorear en tiempo real. Las entradas que se manejan para los modelos de carga son: tensión y frecuencia los cuales son obtenidos mediante el uso de las PMU [8].

Por otro lado tenemos que las cargas del sistema eléctrico pueden ser estáticas y dinámicas, las cargas estáticas se definen con funciones de voltaje y frecuencia y a su vez con salida de potencia real y potencia reactiva [11]. El impacto de los modelos de cargas son importantes para mejorar la estabilidad, ya que uno de los elementos más difíciles de modelar en los sistemas eléctricos son los componentes, por lo cual se requiere resolver por medio de algoritmos genéticos adaptados al sistema [12].

El paso siguiente en el modelado de la carga basado en medición es encontrar el valor óptimo de los parámetros del modelo, para lo cual se usa la técnica de mínimos cuadrados que nos sirve para identificar los parámetros de la carga [13].

El objetivo de este trabajo es utilizar el método ZIP ya que son muy útiles para el análisis de las cargas del sistema, ya que se podrá

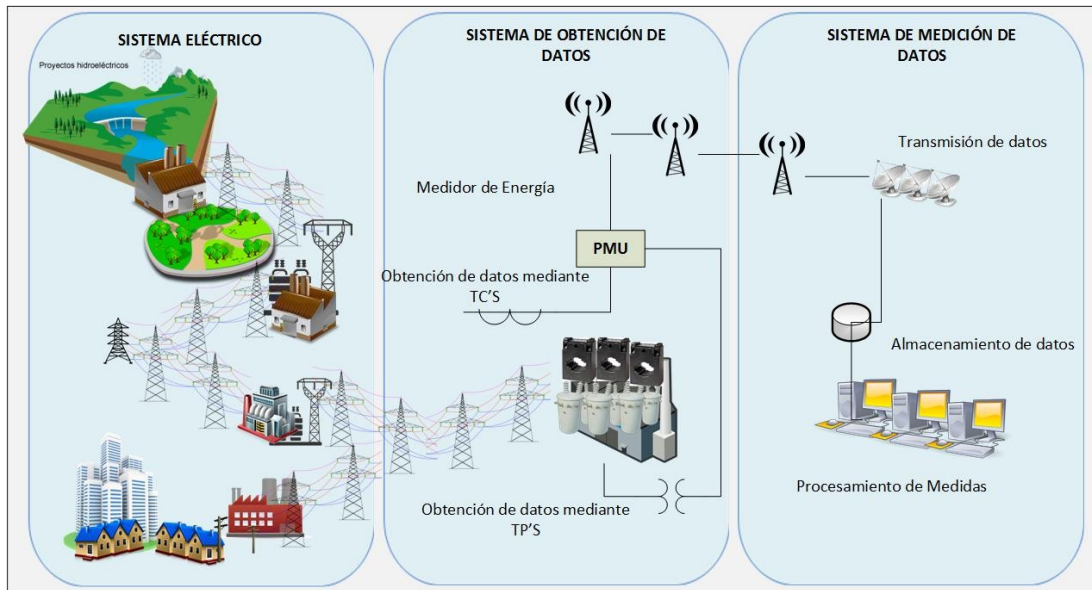


Figura 1. Caracterización de la carga mediante el uso de PMU

Caracterizar la carga eléctrica del sistema, teniendo en cuenta los coeficientes de impedancia, voltaje y corriente, con los cuales se pretende llegar a un valor cercano a la carga real del sistema [14], [15]. El procedimiento que se tiene para caracterizar la carga eléctrica de un (SEP) se indica en la figura 1, ya que muestra el sistema eléctrico y la obtención de datos mediante el uso de fasores de voltaje y corriente (TC's) y (TP's) estos van dirigidos al sistema de almacenamiento y procesamiento de datos, para poder simularlos mediante los métodos propuestos anteriormente y obtener un resultado verídico en tiempo real del sistema eléctrico [16], [17].

Este artículo se organiza de la siguiente manera: en la sección II mencionamos el análisis de carga. En la sección III se describe el planteamiento del problema. En la sección IV se analizan los resultados. Finalmente en la sección V se presentan las principales conclusiones.

2. Análisis de carga

El comportamiento de la carga depende de los diferentes componentes que forman sistema eléctrico, estos pueden ser: Aparatos de consumo en media y baja tensión, transformadores de

distribución [18]. Por otra parte y en teoría cada subestación debe tener su propio modelo de carga, sin embargo esto no se presenta en la realidad pero tienen zonas en común con otras subestaciones, como: cargas industriales, cargas agrícolas, cargas comerciales, cargas residenciales y otras cargas [9]. Esto a su vez se suma que las cargas tienen diferentes características, por lo cual es difícil llegar a un estimado exacto de la carga, por lo cual este debería ser representado por un sistema de simplificación, para lo cual se usaran métodos que combinan investigación, y análisis enfocados en la carga [1], [5]. El modelo propuesto para el desarrollo del análisis de la carga es: el método ZIP, ya que este método nos ayuda en el cálculo de la estabilidad transitoria, y cargas estáticas, además de contar con un margen de error bajo [19][20].

2.1 Método Zip

Este modelo es muy importante y apropiado, ya que está basado en la impedancia del sistema, dada que esta varía de acuerdo a la carga [6]. Se debe tomar en cuenta que para el desarrollo de este método, se utilizan otros parámetros dados por el sistema eléctrico entre estos están: el voltaje, la corriente y la impedancia, sin embargo los resultados

de potencia no pueden ser correctos debido a que la carga varía constantemente [21], [22].

Este modelo tiene algunos parámetros que pueden ser obtenidos de varias maneras, ya sea por un sistema RTDS o a su vez tomando medidas de los PMU. Por otro lado este modelo representa la carga de un sistema, para lo cual necesita los coeficientes anteriormente mencionados, con las cuales se estima un valor aproximado de la carga, este modelo tiene un porcentaje de error máximo de 2% lo cual nos indica que es un modelo muy confiable para este tipo de investigaciones [23], [24]. Este método puede representarse con las siguientes ecuaciones (1), (2). [6], [25]:

$$\frac{P}{P_0} = \left[\alpha_1 \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 + \alpha_2 \left(\frac{V}{V_0} + \alpha_3 \right) (1 + \alpha_4 \Delta f) \right] \quad (1)$$

$$\frac{Q}{Q_0} = \alpha_0 \left[\alpha_5 \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 + \alpha_6 \left(\frac{V}{V_0} + \alpha_7 (1 + \alpha_8 \Delta f) \right) \right] \quad (2)$$

En las ecuaciones anteriores se toman en cuenta las variaciones de frecuencia, sin embargo en este documento se las ignoran (3), (4) [6]:

$$\frac{P}{P_0} = \alpha_0 \left[\alpha_1 \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 + \alpha_2 \left(\frac{V}{V_0} \right) + \alpha_3 \right] \quad (3)$$

$$\frac{Q}{Q_0} = \alpha_0 \left[\alpha_4 \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 + \alpha_5 \left(\frac{V}{V_0} \right) + \alpha_6 \right] \quad (4)$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1 \quad (5)$$

$$\alpha_4 + \alpha_5 + \alpha_6 = 1 \quad (6)$$

Donde α_0 , α_0 y V_0 son valores nominales y α_1 , α_2 y α_3 son constantes proporcionales de la impedancia de carga de la potencia real y de similar manera α_4 , α_5 y α_6 para la potencia reactiva [26]. Por otra parte la carga depende de dos componentes; la parte activa o potencia real (α_1) y la parte reactiva o potencia reactiva (α_4). Con respecto a los valores de (α_1 , α_2 , α_3) y los valores (α_4 , α_5 , α_6)

estos siempre sumaran el valor de 1, debido a la restricción que tiene el método propuesto, que viene dado a un problema de ecuación no lineal de mínimos cuadrados [8], [23]. Por otro lado tenemos la oportunidad de modificar estos valores, para tener diferentes resultados y poder representar de una mejor manera el comportamiento de la carga [15], [29].

3. Formulación del problema

En los diferentes tipos de SEP se pueden presentar algunos cambios en la carga, ya sea que estos incrementen o decrezcan, este cambio o perturbación se ve reflejada en la onda del sistema, ya sean con picos altos o bajos, las cuales se las puede observar durante varios milisegundos.

En el presente estudio, se analizó los diferentes tipos de cambios que se producen en la carga, para lo cual debemos usar herramientas que nos permitan visualizar con precisión estos acontecimientos, para lo cual

El método ZIP es una herramienta que nos permite, observar y analizar los cambios que se producen en la carga, ya que trabaja con parámetros de corriente, voltaje e impedancia. Este método es una herramienta muy útil ya que se puede caracterizar la carga de una forma rápida. Para observar los cambios en la carga de un sistema de transmisión se ha realizado

de potencia no pueden ser correctos un modelo basado en el método ZIP usando MATLAB la cual se detalla a continuación.

estos siempre sumaran el valor de 1,

3.1 Modelo para caracterizar la carga (Propuesto)

Para la caracterización de la carga en un sistema eléctrico, se tomó en cuenta valores de carga del nodo 3, asumiéndolos con datos obtenidos de un medidor inteligente (SM) por sus siglas en ingles de esta manera se realizó un análisis en dicho nodo del esquema de 14 barras de IEEE que se presenta en la figura 2.

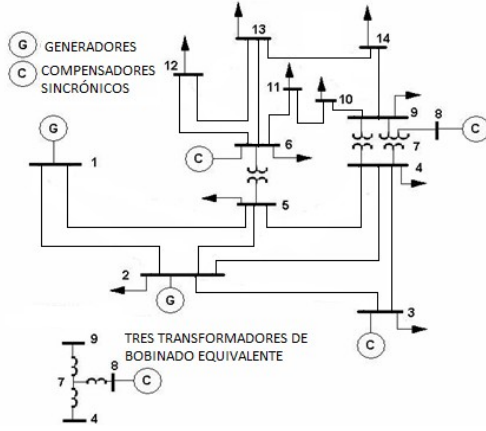


Figura 2. Esquema de 14 barras de la IEEE

Para finalizar la interfaz gráfica mostrará los resultados obtenidos, en los diferentes escenarios propuestos y probados con el método ZIP, para su análisis, se describe el algoritmo a continuación.

Algoritmo para la caracterización de la Carga Eléctrica

Paso 1: Obtener los parámetros eléctricos

$$V_{i\phi} = \phi\phi\phi\phi a\phi\phi\phi\phi\phi\phi\phi\phi, \phi = 1, 2,$$

..., ϕ

$$\phi\phi\phi\phi = \phi\phi\phi\phi\phi\phi\phi\phi\phi\phi\phi\phi\phi\phi, \phi = 1, 2, \dots, \phi$$

$$\phi\phi\phi\phi(\phi\phi)_i = \phi\phi\phi\phi\phi\phi\phi\phi a$$

$$a\phi\phi\phi\phi\phi\phi, 1, 2, \dots, \phi$$

$$\phi\phi = V_{L\phi} * \phi\phi_i * \sqrt{3} * \phi\phi\phi\phi(\phi\phi)_i$$

$$\phi\phi = V_{L\phi} * \phi\phi_i * \sqrt{3} * S\phi\phi(\phi\phi)_i$$

Paso 2: Estimación de coeficientes.

$$\phi\phi\phi, \phi\phi\phi, \phi\phi\phi$$

Paso 3: Cálculo de ϕ, ϕ

For $\phi = 1: 1: \phi$

$$\phi = \phi_0 \left(\frac{\phi\phi}{V_0} \right)^2 + \phi\phi \left(\frac{V}{V_0} \right) + \phi\phi\phi$$

$$\phi = \phi_0 \left(\frac{\phi\phi}{V_0} \right)^2 + \phi\phi \left(\frac{V}{V_0} \right) + \phi\phi\phi$$

End For

Paso 4: Repetir el paso 2 para cada nodo

Paso 5: Representar el comportamiento de la carga.

4. Análisis de resultados

Para las simulaciones y resultados, se tomó datos obtenidos de un medidor inteligente, con un total de 100

un voltaje nominal de 120 V, mostrados en la siguiente tabla 1.

Tabla 1: Datos iniciales

Datos	Impedancia Z	Corriente I	Potencia P
ϕ_0	0,33	0,33	0,33
ϕ_0	0,33	0,33	0,33

En la figura 3 se tiene la comparación de del método ZIP versus los datos reales medidos, la curva que se presenta se debe a la variación de la carga que se presenta en un día, con un voltaje nominal de 120 V.

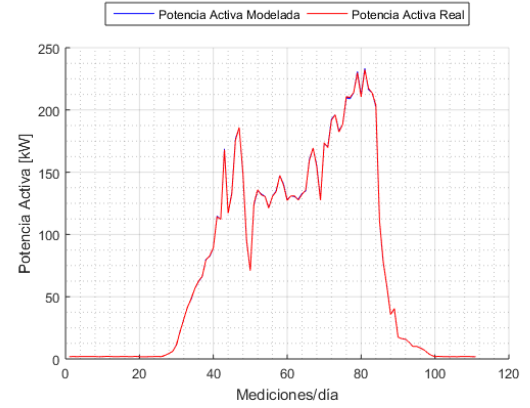
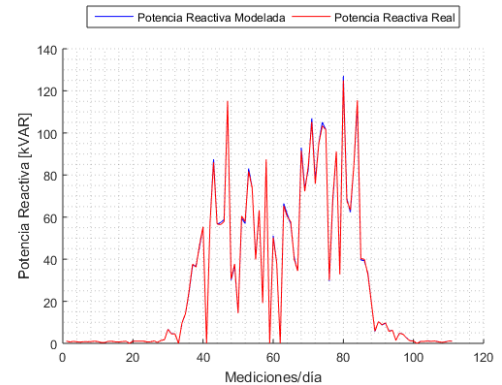


Figura 3. Potencia activa modelada vs. Potencia activa real inicial

En la figura 4 se tiene la comparación entre la potencia reactiva modelada versus la potencia reactiva real.



mediciones diarias, con coeficientes iniciales de impedancia, corriente y potencia con similares características, y

un voltaje nominal de 120 V, mostrados

Figura 4. Potencia reactiva modelada vs.
Potencia reactiva real inicial

4.1 Análisis de caracterización de la carga con el método propuesto

Para el siguiente análisis se probó el algoritmo propuesto, cambiando los coeficientes iniciales de impedancia, corriente y potencia, tanto para el cálculo de potencia activa y potencia reactiva, los cuales se mostrarán en las siguientes tablas y demostraciones.

Caso 1:

En la tabla 2 se muestra los datos de los coeficientes de impedancia, corriente y potencia modificados, con un voltaje nominal de 120 V.

Tabla 2: Coeficientes de la carga caso 1

Datos	Impedancia Z	Corriente I	Potencia P
1	0,252	0,325	0,423
2	0,719	0,156	0,125

En la figura 5 se muestra la potencia medida versus la potencia real, con variación en los coeficientes, para la respectiva demostración, en la cual se apreció el poco cambio en la imagen, se debe a la restricción del método, con el cual se llega a una simulación similar.

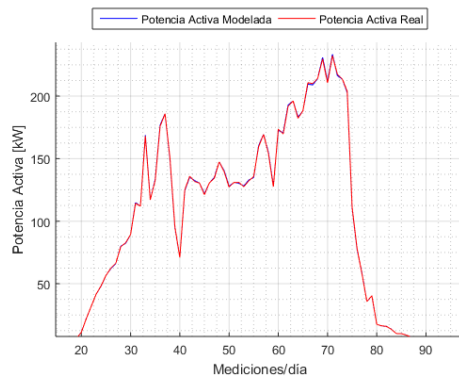


Figura 5. Potencia activa modelada vs. Potencia activa real caso 1

Para poder analizar de mejor manera se utilizó la barra de error de Matlab, la cual permitió comprobar la diferencia que se presenta entre los valores reales y los valores medidos, con la que se verificó un margen de error mínimo entre estos valores, debido al cambio de la corriente en el transcurso del tiempo, la cual se presenta en la figura 6.

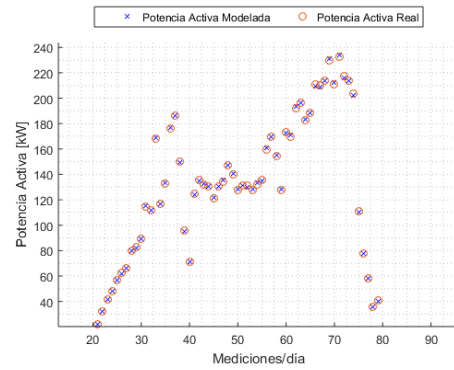


Figura 6. Potencia Activa Modelada vs. Potencia Activa real caso 1 con barra de error

De similar manera se analizó la potencia reactiva medida y la potencia reactiva real, en la cual se pudo apreciar la poca variación existente aplicando el método, que se muestra en la figura 7

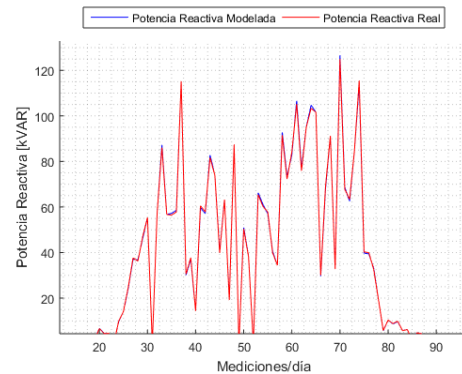


Figura 7. Potencia Activa Modelada vs. Potencia Activa real caso 1

En la figura 8 se muestra con mayor detalle el uso del método, se aprecia la potencia reactiva medida y la potencia reactiva real, los picos que se presentan se debe a la variación de la corriente que se presenta en la parte inductiva del sistema.

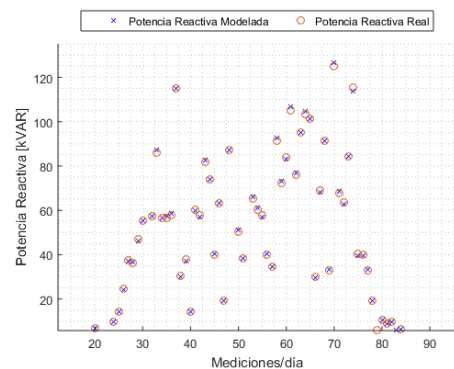


Figura 8. Potencia Reactiva Modelada vs. Potencia Reactiva real caso 1 con barra de error

Caso 2:

Se analizó el mismo sistema cambiando los coeficientes de impedancia, potencia y corriente, con un voltaje nominal de 121V como se muestra en la tabla 3

Tabla 3: Coeficientes de la carga caso 2

Datos	Impedancia Z	Corriente I	Potencia P
\diamond_2	0,5	0,049	0,001
\diamond_2	0,619	0,156	0,225

En la figura 9 se presenta el segundo escenario, donde se apreció la variación entre la potencia activa medida y la potencia activa real, el cambio es mínimo debido a la restricción del método.

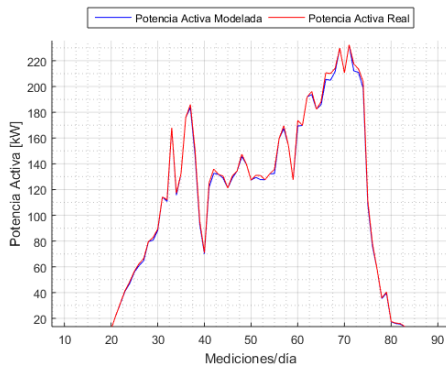


Figura 9. Potencia Activa Modelada vs. Potencia Activa real caso 2

En la figura 10 se presenta el mismo caso pero demostrando de una forma más precisa el método aplicado. Esto se realiza con las barras de error de Matlab.

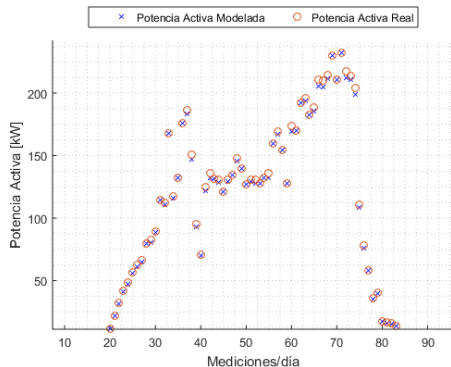


Figura 10. Potencia Activa Modelada vs. Potencia Activa real caso 2 con barra de error

En la figura 11 se muestra la potencia reactiva medida versus la potencia

reactiva real con los parámetros de la tabla 2.

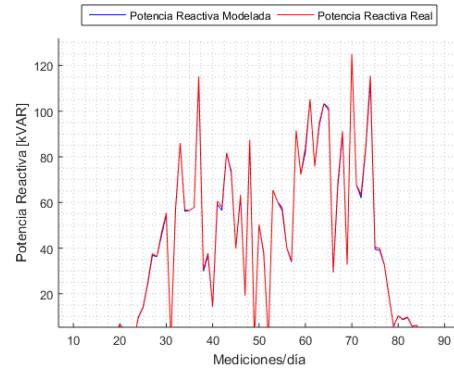


Figura 11. Potencia Reactiva Modelada vs. Potencia Reactiva Real caso 2

En la figura 12 se muestra la potencia reactiva modelada versus la potencia reactiva real con aplicación de la barra de error de Matlab, para una mejor demostración.

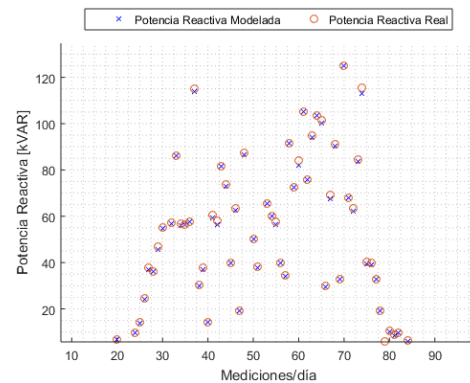


Figura 12. Potencia Reactiva Modelada vs. Potencia Reactiva real caso 2 con barra de error

Caso 3:

En la tabla 4 se muestra los coeficientes de impedancia, potencia y corriente, con un voltaje nominal de 119V, para una nueva demostración.

Tabla 4: Coeficientes de la carga caso 3

Datos	Impedancia Z	Corriente I	Potencia P
\diamond_3	0,089	0,759	0,152
\diamond_3	0,820	0,050	0,13

La figura 13 muestra la comparación entre la potencia activa medida y la potencia activa real.

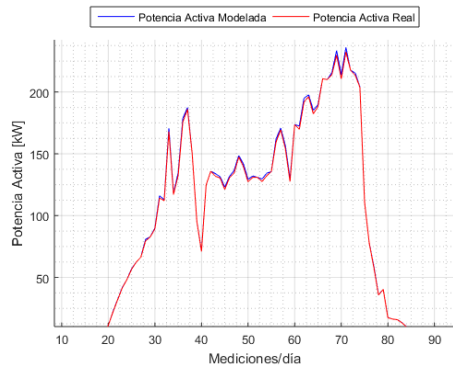


Figura 13. Potencia Activa Modelada 1 vs. Potencia Activa real caso 3

En la figura 14 presenta el esquema anterior con el uso de la barra de error de Matlab.

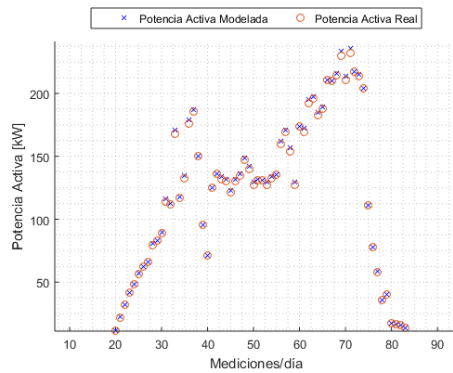


Figura 14. Potencia Activa Modelada vs. Potencia Activa real caso 3 con barra de error

En la figura 15 se muestra la potencia reactiva medida y la potencia reactiva real con coeficientes de la tabla 4.

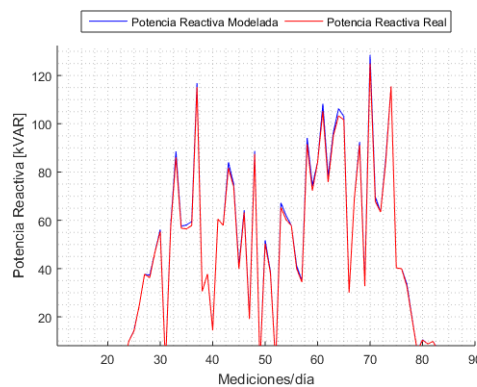


Figura 15. Potencia Reactiva Modelada vs. Potencia Reactiva Real caso 3

En la figura 16 se muestra la potencia reactiva medida y la potencia reactiva real usando la barra de error de Matlab.

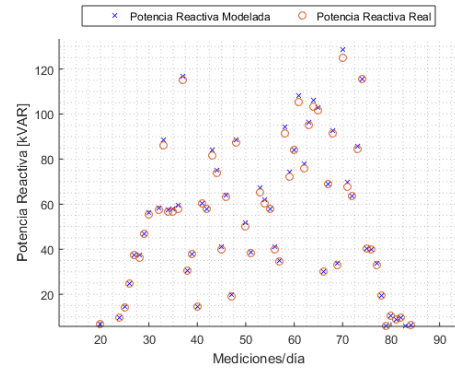


Figura 16. Potencia Reactiva Modelada vs. Potencia Reactiva real caso 3 con barra de error.

Caso 4:

Se presenta nuevos datos de impedancia, corriente y potencia con un voltaje nominal de 119V, mostrado en la tabla 5, para un nuevo análisis.

Tabla 5: Coeficientes de la carga caso 4

Datos	Impedancia Z	Corriente I	Potencia P
\diamond_4	0,962	0,020	0,018
\diamond_4	0,369	0,581	0,05

En la figura 17 se presenta la comparación entre la potencia activa medida y la potencia activa real con coeficientes de la tabla 5, en este caso se denota más los picos en la potencia activa modelada, esto se debe a la variación no solamente de los coeficientes anteriormente indicados, sino también un cambio leve en el voltaje nominal.

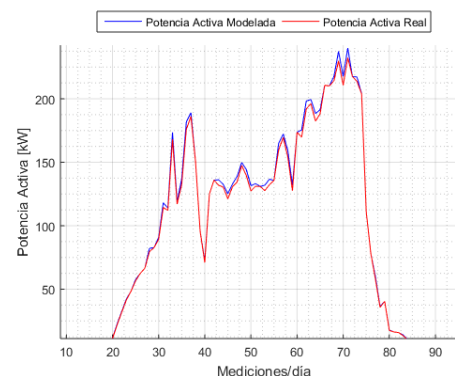


Figura 17. Potencia Activa Modelada 1 vs. Potencia Activa real caso 4

En la figura 18 se muestra el caso anterior usando la barra de error de Matlab.

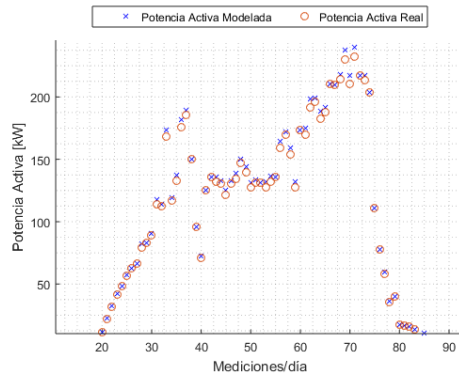


Figura 18. Potencia Activa Modelada vs. Potencia Activa real caso 4 con barra de error

En la figura 19 se analizó la potencia reactiva medida y la potencia reactiva real con datos de la tabla 5.

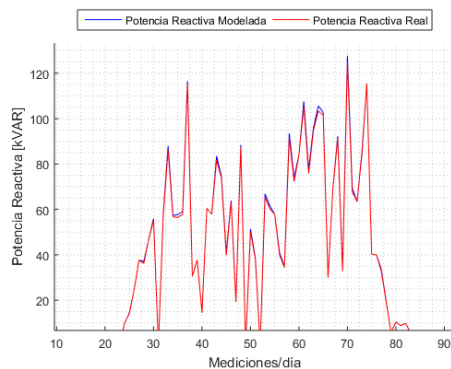


Figura 19. Potencia Reactiva Modelada vs. Potencia Reactiva Real caso 4

En la figura 20 se presenta el comportamiento anterior usando la barra de error de Matlab.

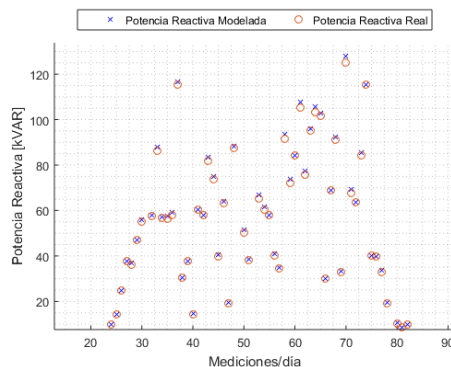


Figura 20. Potencia Reactiva Modelada vs. Potencia Reactiva real caso 4 con barra de error.

5. Conclusiones

En el presente trabajo se caracterizó la carga eléctrica usando el modelo ZIP, el cual usa los diferentes coeficientes que presenta la carga eléctrica, los cuales son obtenidos por unidades de medición fasorial y medidores inteligentes. Con respecto al modelo este permitió cambiar diferentes coeficientes para una mejor demostración y análisis de los datos obtenidos.

La variación que se presentan en las gráficas se produce debido al cambio de los factores que influyen en la caracterización de la carga en el transcurso del día, la cual viene determinado de manera proporcional a la demanda diaria de los consumidores.

Con las mediciones registradas de las PMU se comprobó la variación que presentan tanto los valores reales y los valores medidos la cual nos presentó un error máximo de 2%, lo cual es un indicativo que es muy eficiente para caracterizar la carga eléctrica, indicando también que es un método confiable para futuros trabajos.

6. Referencias

- [1] H. Dong, H. Renmu, X. Yanhui, M. Jin, and H. Mei, "Measurement-based Load Modeling Validation by Artificial Three-phase Short Circuit Tests in North East Power Grid," 2007, pp. 1–6.
- [2] V. H. Quintana and S. Member, "Power Engineering Society for presentation at the," vol. 75, no. 3, pp. 617–626, 1982.
- [3] V. Knyazkin, C. A. Canizares, and L. H. Soder, "On the parameter estimation and modeling of aggregate power system loads," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 19, no. 2, pp. 1023–1031, May 2004.
- [4] D. J. Hill, "Nonlinear dynamic load models with recovery for voltage stability studies," *IEEE*

- Trans. Power Syst.*, vol. 8, no. 1, pp. 166–176, Feb. 1993.
- [5] H. Renmu, M. Jin, and D. J. Hill, “Composite load modeling via measurement approach,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 21, no. 2, pp. 663–672, May 2006.
 - [6] M. Sadeghi and G. A. sarvi, “Determination of ZIP parameters with least squares optimization method,” 2009, pp. 1–6.
 - [7] J. Ma, R. He, Z. Dong, and D. J. Hill, “Measurement-based Load Modeling using Genetic Algorithms,” 2007, pp. 2909–2916.
 - [8] V. Vignesh, S. Chakrabarti, and S. C. Srivastava, “An experimental study on the load modelling using PMU measurements,” *2014 IEEE PES T&D Conf. Expo.*, pp. 1–5, 2014.
 - [9] J. Y. Wen, L. Jiang, Q. H. Wu, and S. J. Cheng, “Power system load modeling by learning based on system measurements,” *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 18, no. 2, pp. 364–371, Apr. 2003.
 - [10] Y. Ge, A. J. Flueck, D. K. Kim, J. B. Ahn, J. D. Lee, and D. Y. Kwon, “An Event-Oriented Method for Online Load Modeling Based on Synchrophasor Data,” *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 6, no. 4, pp. 2060–2068, 2015.
 - [11] W. W. Price *et al.*, “Standard Load Models for Power Flow and Dynamic Performance Simulation,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 10, no. 3, pp. 1302–1313, 1995.
 - [12] J. L. P. J. J. Lim and K. K. S. P. J. Kim, “A load modeling using ANN for power system analysis,” *Proc. IEEE. IEEE Reg. 10 Conf. TENCON 99. “Multimedia Technol. Asia-Pacific Inf. Infrastructure” (Cat. No.99CH37030)*, vol. 2, pp. 1475–1478, 1999.
 - [13] P. Ju, E. Handschin, and D. Karlsson, “Nonlinear dynamic load modelling: model and parameter estimation,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 11, no. 4, pp. 1689–1697, Nov. 1996.
 - [14] J. H. Shi and H. Renmu, “Measurement-based load modeling-model structure,” 2003, vol. 2, p. 5 pp. Vol.2-pp.
 - [15] D. He, T. Habetler, M. J. Mousavi, and N. Kang, “A ZIP model-based feeder load modeling and forecasting method,” 2013, pp. 1–5.
 - [16] I. A. Hiskens and J. Alseddiqui, “Sensitivity, approximation, and uncertainty in power system dynamic simulation,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 21, no. 4, pp. 1808–1820, 2006.
 - [17] W. H. Xu *et al.*, “Load modeling during asymmetric disturbance in a metropolitan power grid,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 24, no. 3, pp. 1191–1198, 2009.
 - [18] Q. Ai, D. Gu, and C. Chen, “New Load Modeling Approaches Based on Field Tests for Fast Transient Stability Calculations,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 21, no. 4, pp. 1864–1873, Nov. 2006.
 - [19] Q. Ai, D. Gu, and C. Chen, “New Load Modeling Approaches Based on Field Tests for Fast Transient Stability Calculations,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 21, no. 4, pp. 1864–1873, 2006.
 - [20] J. Ma, Z. Y. Dong, D. J. Hill, and H. Renmu, “Measurement based load modeling using genetic algorithms,” *Evol. Comput.*, pp. 2909–2916, 2007.
 - [21] P. Jazayeri, W. Rosehart, and D. T. Westwick, “A Multistage

- Algorithm for Identification of Nonlinear Aggregate Power System Loads,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 22, no. 3, pp. 1072–1079, Aug. 2007.
- [22] H. Bai, P. Zhang, and V. Ajjarapu, “A Novel Parameter Identification Approach via Hybrid Learning for Aggregate Load Modeling,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 24, no. 3, pp. 1145–1154, Aug. 2009.
- [23] D. Carrion, J. W. Gonzalez, G. J. López, I. A. Isaac, and H. A. Cardona, “Energy Management System for Load Characterization based on Voltage and Current Phasorial Measurements,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, 2017.
- [24] A. Sánchez and D. Carrión, “Modeling of the Behavior Power Flow on Transmission Lines Based on Voltage and Current Synchronopasors,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, 2017.
- [25] E. Society, *IEEE Standard for Synchrophasor Measurements for Power Systems IEEE Power & Energy Society*, vol. 2011, no. December. 2012.
- [26] “Standard load models for power flow and dynamic performance simulation,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 10, no. 3, pp. 1302–1313, Aug. 1995.
- [27] Q. Liu, Y. Chen, and D. Duan, “The load modeling and parameters identification for voltage stability analysis,” *Power Syst. Technol. 2002. Proceedings. PowerCon 2002. Int. Conf.*, vol. 4, pp. 2030–2033, 2002.
- [28] J. Ma, D. Han, R. M. He, Z. Y. Dong, and D. J. Hill, “Reducing Identified Parameters of Measurement-Based Composite Load Model,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 23, no. 1, pp. 76–83, Feb. 2008.
- [29] V. Ajjarapu, “A Novel Parameter Identification Approach via Hybrid Learning for Aggregate Load Modeling,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 24, no. 3, pp. 1145–1154, 2009.